ÜBER DIE OPTISCHEN VERHÄLTNISSE DER DECKFARBEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DER

MEDIZINISCHEN DOKTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT

ZU

FREIBURG IM BREISGAU

ACAD. LUDOVICIANA BIBL.

VON

LEOPOLD VON HOLST

AUS

St. PETERSBURG.

Druck- und Verlags-Gesellschaft vorm. Dölter, Emmendingen.
1911.

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität Freiburg i. Br.

Dekan:
Geh. Hofrat Professor Dr. P. Kraske.

Referent:
Geh. Rat Professor Dr. J. v. Kries.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545323_0105

Ueber die optischen Verhältnisse der Deckfarben.

Bei der ophthalmoskopischen Untersuchung des Augenhintergrundes lässt sich bekanntlich das gelbe Pigment der Fovea centralis nicht sichtbar machen, während dasselbe am Leichenauge deutlich erkennbar ist. Dieser Umstand wird dadurch erklärt, dass sich das Pigment im lebenden Auge in Lösung befinde, also als Lackfarbe wirke und daher auf dem dunkelroten Grunde der Chorioidea unsichtbar sei. Durch die postmortal eintretende Trübung nun wird das einfallende Licht in der Retina selbst reflektiert, dadurch tritt Absorption durch die Lackfarbe ein und diese wird sichtbar; die Lackfarbe wird also durch die postmortale Trübung zur Deckfarbe.

Im Gegensatz hierzu erklärt Gullstrand die im Leichenauge sichtbare Gelbfärbung als postmortale Erscheinung, hervorgerufen durch Transsudation von Flüssigkeit aus den Kapillaren durch die Epithelzellen hinter die Netzhaut. Gullstrand schreibt: „Was da aus den Zellen ausgeführt wird, lässt sich natürlich nicht bestimmen, dass aber, wenn auch das Protoplasma der Zellen keinen gelösten Farbstoff enthält, Gelegenheit zur Bildung eines solchen gegeben ist, wird wohl kaum bestritten werden können".

Es sei mir gestattet die betreffende Arbeit von Gullstrand[1]) kurz zu referieren, um zu zeigen, auf Grund welcher Beobachtungen und Ueberlegungen Gullstrand zu einer von der herrschenden Ansicht abweichenden Anschauung gekommen ist.

[1]) A. Gullstrand. Die Farbe der Macula centralis retinae. Graefes Archiv f. Ophth. Bd. 62. S. 1.

Zunächst müsste nach Gullstrand die gelbe Farbe am Lebenden sichtbar werden, wenn ähnliche Verhältnisse, wie sie an der Leiche vorhanden sind, bewirken, dass zusammengesetztes Licht von der Retina selbst reflektiert wird. Dieses wäre der Fall 1. bei starker Pigmentierung, wobei der Augenhintergrund ophthalmoskopisch beobachtet spiegelnd grau erscheint, hierbei hat Gullstrand keine gelbe Farbe in der Macula erkennen können; 2. bei Oedem der Maculagegend durch akute Ischaemie — auch hierbei lässt sich kein gelbes Pigment nachweisen.

An der Netzhautoberfläche finde eine wahre Brechung des Lichtes statt, wobei die Fovea zerstreuend wirke, wodurch ein Lichtverlust bedingt ist. Ebenso entstehe ein Lichtverlust durch Reflexion an der brechenden Fläche. Beide Verluste betreffen in höherem Grade kurzwelliges als langwelliges Licht. Im Netzhautgewebe entstehen Lichtverluste teils durch selektive Absorption in der luteinhaltigen Gewebslymphe, teils durch multiple Reflexionen an den geformten Gewebsbestandteilen. Ausserdem entsteht hier durch Fluoreszenz ein Zuschuss von gemischtem Lichte, wenn das auffallende Licht kurzwellig ist; hierdurch wird ein makulares Gefälle der Gesamtintensität bewirkt. In der Sinnesepithelschicht wird durch den schiefen Einfall des an der Fovea gebrochenen Lichtes ein makulares Gefälle verursacht, das Gefälle ist für kurzwelliges Licht grösser als für langwelliges.

Das am Augenhintergrunde reflektierte Licht, welches zu dem in die Sinnesepithelien eingedrungenen Licht hinzukommt, stellt einen Zuschuss dar, welcher gegen das Zentrum hin ein Gefälle hat und lokale Farbenunterschiede bewirken kann. Schliesslich findet noch ein makulares Gefälle im Sehpurpur resp. seinen Zersetzungsprodukten statt.

Bekanntlich werden zwei entoptische Erscheinungen,

der Maxwellsche Fleck und die Haidingerschen Polarisationsbündel auf Lichtabsorption im Pigment der Fovea zurückgeführt. Gullstrand nun (der eine entoptische Fovea und Macula unterscheidet) erklärt die erstere durch den Lichtverlust, der durch Zerstreuung bei der Brechung an der Netzhautoberfläche entsteht. Die entoptische Macula dagegen soll dem makularen Gefälle an Sehpurpurgehalt der Sinnesepithelien entsprechen.

Die Haidingerschen Polarisationsbündel entstehen, wie Versuche über die Parallaxe zeigen, in der Schicht der Sinnesepithelien und sind auf den durch schiefe Inzidenz in den Stäbchen und Zapfen bedingten Reflexverlust zurückzuführen.

Die Untersuchungen der Farbenmischungen ergaben grösseres makulares Gefälle für Licht von der Wellenlänge 497 μμ als 486 μμ. Dieser Unterschied wird durch das makulare Gefälle der Absorption im Sehpurpur erklärt.

Die verschiedenen Komplementfarben zu einem und demselben Weiss bei grösserem und kleinerem Felde (Hering[1]) können nach Gullstrand aus den Tatsachen der Fluoreszenz erklärt werden.

Schliesslich ist die entoptische Macula bei mässiger Helladaptation in monochromatischem Licht von 420 μμ gewöhnlich nicht sichtbar, was Gullstrand, durch die bei Aenderung der Wellenlänge eintretende Zumischung von Licht kürzerer Wellenlänge erklärt.

Je weniger Gewalt beim Loslösen der Netzhaut eines frisch enukleierten Auges angewandt wird, um so weniger soll von der Gelbfärbung der Macula zu sehen sein, daher empfiehlt Gullstrand die Loslösung der Netzhaut durch Schütteln unter Wasser und will bei dieser Behandlungsweise keine Leichenmacula gesehen haben.

[1]) Hering. Ueber den Einfluss d. Mac. lutea auf spektrale Farbengleichungen. Pflügers Archiv f. Physiologie. Bd. 54. S. 277.

Ohne auf die Reihe von Arbeiten [1], [2], [3] einzugehen, welche sich gegen die von Gullstrand aufgestellte Anschauung wenden, will ich hier nur anführen, dass Gullstrand die von andern Autoren gesehene Gelbfärbung der Fovea am frischenukleierten Auge dadurch erklärt, dass bei Ablösung der Netzhaut Epithelzellen mit abgerissen worden sind, ebenso führt er die von Dimmer [4], [5] bei intensiver Beleuchtung am lebenden Auge gesehene Gelbfärbung auf das Epithelpigment zurück [6].

Zum selben Zweck wurden am physiologischen Institut der Universität Freiburg die Augen zweier Affen untersucht. Ich lasse das Protokoll der einen Untersuchung folgen: Die Operation wurde durch Prof. Trendelenburg ausgeführt. Beginn der Entblutung 10 Uhr 30 Min.; Beginn der Exstirpation des rechten Auges 10 Uhr 31½ Min.; Schluss der Exstirpation 10 Uhr 32½ Min.; hierauf wird der Bulbus zirkulär durchschnitten und die ganze hintere Partie umgestülpt und auf einen Glasknopf aufgespannt; es wird also bei dieser Art der Präparation die Netzhaut überhaupt nicht von den übrigen Schichten der Bulbuswand abgelöst; die Untersuchung wird hierauf unter physiologischer Kochsalzlösung mit Hilfe einer binokularen Lupe vorgenommen. Die Untersuchung beginnt 10 Uhr 34 Min., also 4 Min.

[1]) Schmidt-Rimpler. Graefes Arch. f. Ophth. Bd. 21. 3. S. 17.
[2]) „ „ „ „ „ „ Bd. 57. S. 24.
[3]) Bericht über d. 30. Versammlung der ophth. Gesellschaft. Heidelberg 1902. Bemerkungen über die Farbe der Macula-Gullstrand. Diskussion: Schmidt-Rimpler, Sattler, Hering.
[4]) Dimmer. Bericht d. 33. Versammlung d. ophth. Gesellschaft. Heidelberg 1906. Die Macula lutea d. menschl. Netzhaut S. 175.
[5]) Dimmer. Die Macula lutea der menschl. Netzhaut. Graefes Arch. f. Ophth. Bd. 65. S. 486.
[6]) Gullstrand. Zur Maculafrage. Arch. f. Ophth. (Graefe) Bd. 66. S. 141.

nach Beginn der Entblutung. Bei auffallendem Licht sind die Macula und die Maculagefässe gut sichtbar, die Macula erscheint als dunkler, etwas ins Bräunliche spielender Fleck. Bei tangentialer Blickrichtung, wobei die unter der Netzhaut liegenden Epithelfortsätze nicht sichtbar werden können, wird ein deutlich gelbgefärbter zirkumskripter Fleck sichtbar, diffuse Gelbfärbung dehnt sich fast bis zur Eintrittsstelle des Sehnerven aus.

Enukleation des linken Auges 10 Uhr 41 Minuten. Schluss der Enukleation 10 Uhr 43 Min. Während der zweiten Operation terminale Atemzüge.

Das Auge wird wiederum zirkulär aufgeschnitten und zwar derart, dass ein grosser Teil des Glaskörpers an der Netzhaut haften bleibt. Die weitere Behandlung ist ebenso, wie beim rechten Auge. Das Resultat der Untersuchung ist genau das gleiche wie oben geschildert.

Da nun nach unseren, wie auch nach den von Schmidt-Rimpler, Dimmer, Hering, Kühne[1]) erhaltenen Resultaten die gelbe Farbe der Macula lutea am frischenukleierten Auge gut sichtbar ist, es sich also wohl kaum um eine postmortale Diffusion von Farbstoff handeln kann, so müssen wir an der alten Anschauung festhalten, dass nämlich der Farbstoff bei auffallendem Licht am Lebenden deshalb nicht sichtbar wird, weil er in Lösung befindlich ist und also gegen den dunklen Hintergrund der Chorioidea nicht sichtbar werden kann.

Um nun diese Theorie zu bekräftigen, war es notwendig, das Verhältnis von Lack- und Deckfarbe zu einander festzustellen. Ausführlichere Untersuchungen über diesen Punkt lagen bis jetzt noch nicht vor. Daher forderte mich Herr Geheimrat von Kries auf, diese Untersuchungen anzustellen; es sei mir gestattet, ihm an dieser Stelle für die Ueberlassung der Arbeit und für seine

[1]) Kühne. Beobachtungen an der frischen Netzhaut d. Menschen. Untersuchungen d. physiol. Instituts d. Univ. Heidelberg. Bd. II.

Hilfe während derselben, meinen besten Dank auszusprechen. Das Resultat dieser meiner Untersuchungen soll hier mitgeteilt werden, obgleich eine endgültige Lösung der Frage noch nicht erreicht ist.

In zwei Reihen von Versuchen sollte festgestellt werden: 1. wie sich die Helligkeit einer Flüssigkeit a. mit zunehmender Schichtdicke, b. mit zunehmender Trübung ändert, und 2. wie sich die Intensität der Farbe a. mit zunehmender Schichtdicke und b. mit zunehmender Trübung ändert.

Für die erste Reihe wurde folgende Versuchsanordnung getroffen: zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeit wurde ein Haemoskop nach Hermann verwendet, in welchem die hintere Glasscheibe durch eine mattgeschliffene Platte aus schwarzem Glas ersetzt war, ebenso waren, um etwaige Reflexe auszuschalten, die Wände des Haemoskops geschwärzt und die vordere Oeffnung abgeblendet. Unmittelbar neben der vorderen Blendenöffnung war ein total reflektierendes Prisma angebracht, in welchem die Scheibe eines schwarz-weissen Farbenkreisels, welcher seitlich seine Aufstellung fand, sichtbar wurde. Sowohl der Farbenkreisel, wie auch die Oeffnung des Haemoskops waren durch dieselbe elektrische Glühlampe, welche unmittelbar vor dem Beobachter angebracht war, beleuchtet.

Die Trübung der Flüssigkeit, welche in das Haemoskop gebracht wurde, wurde auf verschiedene Weise erreicht; für die erste Versuchsreihe wurde Milch verwandt. Es wurde also dem Wasser ein bestimmter Prozentgehalt Milch zugesetzt und darauf bei bestimmtem Weisssektor die Schichtdicke der Flüssigkeit abgelesen, welche erforderlich war, damit Flüssigkeit und Sektor die gleiche Helligkeit zeigten.

Hierzu ist noch zu bemerken, dass die getrübte Flüssigkeit im Haemoskop, dank der Reflexion und

Brechung an den einzelnen Milchpartikelchen, eine leichte bläuliche Färbung zeigte; der Fehler, der hierdurch etwa entstehen konnte, wurde dadurch ausgeschaltet, dass vor dem Sektor eine entsprechende Blauscheibe angebracht wurde.

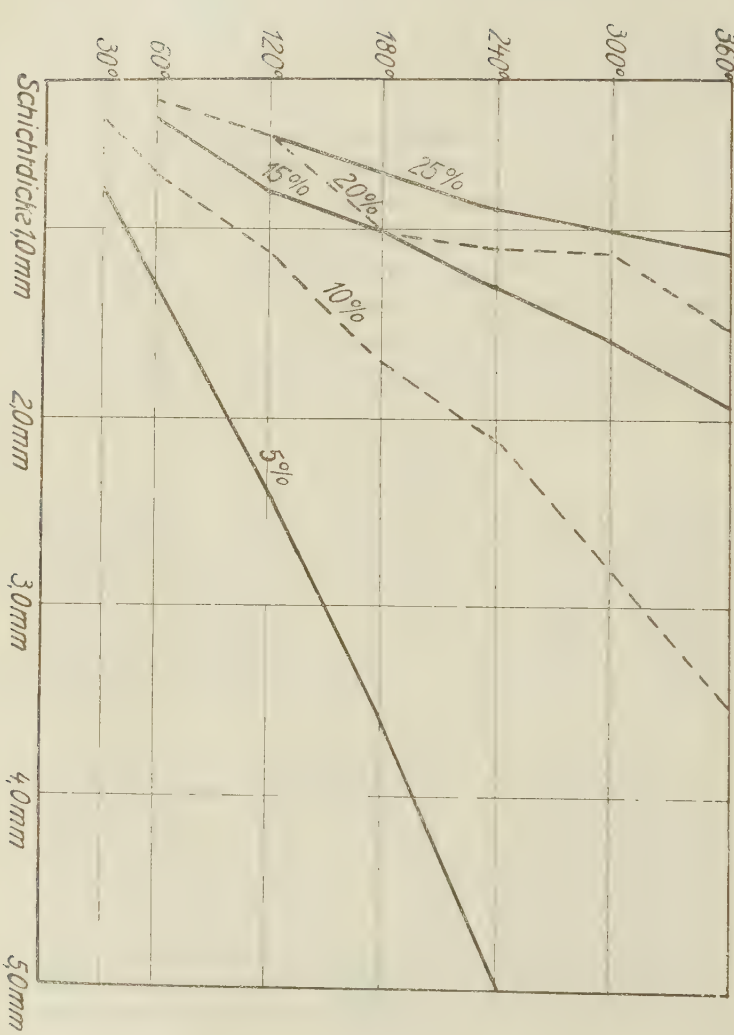
Ferner ist die Skala des Haemoskops nach Millimetern eingeteilt, eine ganz sichere Ablesung ist also nur bis zu etwa 0,5 mm möglich, kleinere Werte lassen sich nur mit einiger Unsicherheit taxieren.

Jede der auf den nachfolgenden Tabellen angeführten Zahlen wurde als Durchschnittswert von mindestens fünf Ablesungen gewonnen, wobei noch zu bemerken ist, dass diese fünf Ablesungen, um jede Selbsttäuschung auszuschliessen, nie unmittelbar nacheinander gemacht wurden.

Tabelle I.

Milchgehalt	30°	60°	120°	180°	240°	300°	360°	Grösse des Weisssektors
5%	0,8	1,3	2,4	3,6	5,0	—	—	Schichtdicke
10%	0,4	0,7	1,1	1,7	2,1	2,8	3,5	der Flüssig-
15%	—	0,4	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	keit im Hae-
20%	—	0,3	0,5	1,0	1,1	1,1	1,5	moskop in
25%	—	—	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	mm

Um hieraus die gewünschten Schlüsse ziehen zu können, wurden die erhaltenen Werte in Kurvenform graphisch dargestellt: Die Schichtdicke ist auf der Abszisse dargestellt, wobei 1,0 mm Schichtdicke 25 mm der Abszisse entsprechen; auf der Ordinate sind die Helligkeitswerte eingetragen, wobei 60° des Weisssektors 15 mm der Ordinate entsprechen. Auf der Kurve sind die Werte für alle fünf Trübungsverhältnisse, mit denen experimentiert wurde, eingetragen.


Helligkeit
360°
300°
240°
180°
120°
60°
30°
25%
20%
15%
10%
5%
Schichtdicke 1,0mm
2,0mm
3,0mm
4,0mm
5,0mm

Aus der Kurve ist zunächst ohne Weiteres zu ersehen, wie sich die Helligkeit mit zunehmender Schichtdicke bei konstanter Trübung verändert.

Die Kurven sind nicht absolut gerade Linien, jedoch glaube ich trotzdem den Schluss ziehen zu können, dass die Helligkeit sich annähernd proportional mit der zunehmenden Schichtdicke verändert, denn ich glaube, dass die geringen Abweichungen von der Geraden innerhalb der möglichen Fehlergrenzen, welche sich aus den oben angegebenen Unzulänglichkeiten des Apparates ergeben, liegen. (Dabei glaube ich von dem Versuch mit der 20% Trübung ganz absehen zu müssen, da die Kurve auch nicht den übrigen vier Kurven entspricht.)

Uebrigens sei gleich hier darauf hingewiesen, dass dieses Ergebnis selbstverständlich nur für kleine Schichtdicken gelten kann. Denn für die Helligkeit ist offenbar eine nicht zu überschreitende Grenze schon dadurch gegeben, dass nicht mehr Licht als die Gesamtheit des auffallenden zurückgeworfen werden kann. Die Helligkeit der trüben Flüssigkeit wird auf jeden Fall nicht grösser werden können als die eines gut weissen festen Körpers. Diese Grenze wird ohne Zweifel bei um so geringeren Schichtdicken erreicht, je trüber die Flüssigkeit ist. In jedem Falle wird das Licht nur bis zu einer gewissen Tiefe in die Flüssigkeit eindringen und die weitere Vermehrung der Dicke über diesen Betrag hinaus wird die Helligkeit nicht mehr ändern. In meinen Versuchen wurde dies auch insofern bemerklich, als bei zu grossen Helligkeiten die Einstellungen des Haemoskops willkürlich wurden; es gab dann keine Einstellung mehr, bei der die Haemoskopfläche heller als die rotierende Scheibe erschienen wäre. Da hierbei eine bestimmte Einstellung nicht zu erhalten war, habe ich diese Helligkeiten vermieden und damit die Versuche denn auch auf relativ kleine Schichtdicken beschränkt.

Um nun festzustellen, wie sich die Helligkeit mit fortschreitender Trübung bei konstanter Schichtdicke verändert, wurden die Helligkeitswerte gleicher Schichtdicken und verschiedener Trübung aus obiger Kurve abgelesen und tabellarisch zusammengestellt. (Hierbei wurden die Werte der einen Kurve (20%), welche bereits oben als unsicher bezeichnet wurden, ausser Acht gelassen.

Tabelle II.

Trübung	0,4	0,8	1,1	1,9	2,8	3,5 mm Schichtdicke
5%	—	30	50	90	140	175
10%	30	75	120	210	300	360
15%	60	120	200	360	—	—
25%	—	210	360	—	—	—

Helligkeitswerte=Grad des Weisssektors.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die Helligkeit nicht proportional der Trübung ansteigt, sondern steiler als letztere, und zwar, wenn man aus den wenigen Werten der Tabelle einen Schluss ziehen darf, in einem annähernd konstanten Verhältnis: die Trübung wächst nämlich bei obigen Versuchen im Verhältnis 1:2:3:5, die Helligkeit dagegen annähernd im Verhältnis zu 1:2,5:4:7.

Von besonderem Interesse war die Frage, ob sich die Helligkeit lediglich als Funktion der Zahl der lichtreflektierenden Teilchen darstellen lässt, d. h. also des Produktes aus Konzentration und Schichtdicke. Wie bekannt gilt dies für die Absorptionen in durchsichtigen Flüssigkeiten (Lösungen). Es kommt hier für die Menge des durchgehenden und des absorbierten Lichtes nur darauf an, durch wieviel Farbstoff das Licht hindurch geht, ist aber gleichgültig, ob dieser in einer grösseren oder geringeren Menge des ungefärbten Lösungsmittels verteilt ist. Für das Aussehen ist also in der Tat das

Produkt aus Konzentration und Schichtdicke massgebend. Die obigen Angaben stellen bereits heraus, dass dies hier nicht zutrifft, da die Helligkeit den Schichtdicken annähernd proportional dagegen etwas schneller als die Konzentrationen wachsen. Um indessen diesen, wie gesagt vorzugsweise interessierenden Punkt, noch deutlicher hervortreten zu lassen, wurde die untenstehende Tabelle III aufgestellt: die eingetragenen Werte entsprechen hierbei dem Produkt aus Trübung (Prozentgehalt) und Schichtdicke. Sind die obenerhaltenen Schlussfolgerungen richtig, so müssen die Werte dieser Tabelle für eine bestimmte Helligkeit mit zunehmender Trübung sinken, das ist nun nicht in sehr ausgesprochener Weise der Fall, jedoch lässt sich immerhin, besonders, wenn man von dem unsicheren Versuche mit 20% Trübung absieht, ein gewisses Sinken der Werte, namentlich bei den grösseren Helligkeiten feststellen.

Tabelle III.

Milchgehalt	30°	60°	120°	180°	240°	300°	360°	Grösse des Weisssektors
5%	4,0	6,5	12,0	18,0	25,0	—	—	Produkt aus Prozentgehalt × Schichtdicke
10%	4,0	7,0	11,0	17,0	21,0	28,0	35,0	
15%	—	6,0	12,0	15,0	19,5	24,0	28,5	
20%	—	6,0	10,0	20,0	22,0	22,0	30,0	
25%	—	—	12,5	17,5	22,5	25,0	27,5	

Um nun auch die Schwankungen in den Resultaten, die vielleicht auch darauf zurückzuführen sind, dass die verwandte Milch nicht stets genau die gleiche war, auszuschalten, wurden die Versuche wiederholt und zwar wurde jetzt die Trübung mit einer sicher konstanten Aufschwemmung vorgenommen. Es wurde hierzu eine Aufschwemmung einer gewöhnlichen käuflichen Wasserfarbe verwandt.

Die Tabelle IV. zeigt die Zusammenstellung der Verhältniszahlen, die auf dieselbe Weise, wie beim ersten Versuch erhalten wurden.

Tabelle IV.

Gehalt a.Farbe	60°	120°	180°	240°	300°	360°	Grösse des Weisssektors
5%	10,0	19,0	30,0	49,0	—	—	Produkt aus Prozentgehalt × Schichtdicke
10%	10,0	19,0	24,0	33,0	40.0	54.0	
15%	10,5	16,5	22,5	28,5	33.0	45.0	
20%	10,0	18,0	20,0	24,0	30,0	36,0	
25%	7,5	12,5	20,0	25,0	27,5	32,5	

In dieser Tabelle werden die erhaltenen Werte mit fortschreitender Trübung deutlich kleiner, was besonders bei der mit einem 180° grossen und grösseren Weisssektor hervortritt. Dieses würde eine Bestätigung der oben erhaltenen Resultate sein, jedoch ist zu erwähnen, dass bei dieser Versuchsreihe die Helligkeit auch nicht proportional der Schichtdicke blieb, sondern um ein Geringes abnahm.

Es lässt sich schwer sagen, worauf dieses abweichende Verhalten zurückzuführen ist. Eine dritte mit einer Aufschwemmung von kohlensaurer Magnesia in Gummilösung angestellte Versuchsreihe ergab durchaus wechselnde, unsichere Resultate; ich führe dieses Verhalten darauf zurück, dass die Versuchslösung sehr stark sedimentierte, es wäre dabei denkbar, dass die Lösung, trotz sorgfältigen Aufschüttelns vor jedem neuen Versuch, nicht konstant blieb. Dieses Resultat scheint mir dafür zu sprechen, dass vielleicht auch die geringen Abweichungen beim vorigen Versuch auf Sedimentierung zurückzuführen seien. Die Farbaufschwemmung sedimentierte nicht stark, dagegen liess sich das einmal ausgefällte Sediment schwer wieder aufrühren, es wäre also

denkbar, dass nach jedem Versuch (die Versuche wurden in der Reihenfolge gemacht, dass bei konstantem Weisssektor die Trübung vergrössert wurde) eine geringe Menge der Farbsubstanz am Boden des Haemoskops liegen geblieben war, wodurch es dann bewirkt wurde, dass das einfallende Licht an einer verhältnismässig kleineren Zahl von Farbpartikeln reflektierte, als vorausgesetzt, die Helligkeit also etwas sinken musste.

Auf Grund dieser Versuche und Ueberlegungen glaube ich den Schluss ziehen zu können, dass der Helligkeitswert einer trüben Flüssigkeit annähernd proportional der Schichtdicke ist, dagegen steiler ansteigt, als die Trübung.

Damit wäre die erste Frage, die ich mir oben gestellt hatte, betreffend die Veränderung des Helligkeitsgrades mit zunehmender Schichtdicke und Trübung beantwortet; ich komme jetzt zum zweiten Teil der Arbeit: wie ändert sich die Intensität einer Farbe a. mit zunehmender Schichtdicke und b. mit zunehmender Trübung.

Zu diesem Zweck wurde die Versuchsanordnung dahin geändert, dass vor dem Sektor ein zweites Haemoskop (unten stets als Haemoskop II bezeichnet) eingeschaltet wurde, bei welchem die hintere Glasscheibe unverändert blieb; in dieses Haemoskop wurde die reine Farblösung eingefüllt. Das vom Weisssektor reflektierte Licht passierte also jetzt zunächst die Farblösung im Haemoskop und wurde dann im ebenso wie beim ersten Versuch aufgestellten Prisma reflektiert. In das andere Haemoskop (unten als Haemoskop I bezeichnet) wurde die gleiche Farblösung eingefüllt, diese Lösung wurde mit Hilfe von Milch getrübt.

Bei dieser Anordnung wird also die Farbigkeit der getrübten Farblösung an der Schichtdicke der reinen

Lösung im anderen Haemoskop II gemessen, während die Helligkeit nach wie vor am Weisssektor gemessen wird.

Zu den Versuchen wurde eine ziemlich gesättigte Lösung von Saffranin in Wasser benutzt, da eine Reihe von Vorversuchen zeigte, dass bei dieser Farbe die Ablesung am sichersten zu machen war.

Zunächst wurde untersucht, welche Schichtdicken beider Lösungen einander bei konstantem Weisssektor entsprechen. Die folgenden Tabellen zeigen die gewonnenen Resultate. (Ausser den in den beiden Tabellen angeführten Versuchen, wurden noch eine Reihe weiterer Versuche derselben Art gemacht, die ich hier nicht anführe. Jede der angeführten Zahlen ist wieder Durchschnittswert von fünf Ablesungen.)

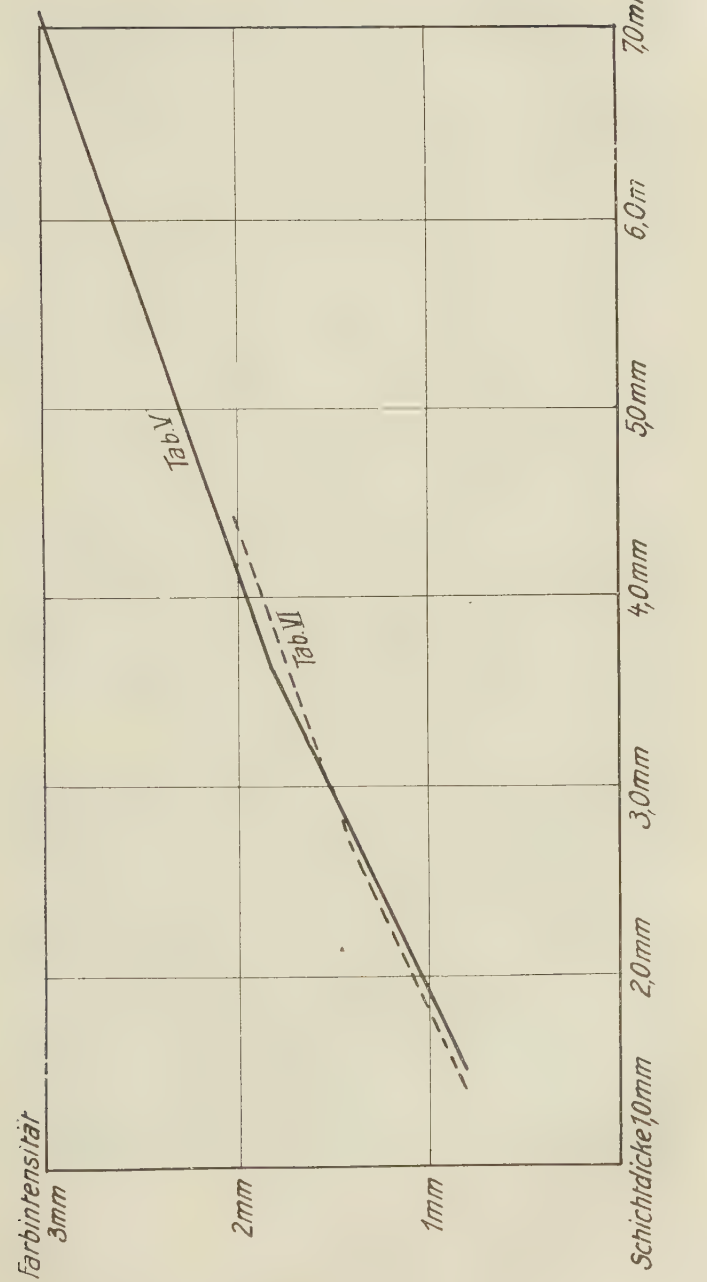
Tabelle V.

Weisssektor	30°	60°	90°	120°	
Haemoskop I. - 10 ccm Farbe plus 0,8 ccm Milch	1,5	2,5	3,6	7,2	Schichtdicke in mm
Haemoskop II. - reine Farblösung	0,8	1,3	1,8	3,0	

Tabelle VI.

Weissektor	30°	60°	90°	
Haemoskop I. - 10 ccm Farbe plus 0,5 ccm Milch	1,4	2,7	4,4	Schichtdicke in mm
Haemoskop II. - reine Farblösung	0,8	1,4	2,0	

Aus diesen Tabellen geht hervor, dass die Schichtdicke der getrübten Flüssigkeit (Deckfarbe) stets annähernd doppelt so gross ist, als die Schichtdicke der reinen Farblösung (Lackfarbe), wobei dieses Verhältnis


Farbintensität
3mm
2mm
1mm
Schichtdicke 1,0mm
2,0mm
3,0mm
4,0mm
5,0mm
6,0mm
7,0mm
Tab V
Tab VI

konstant bestehen bleibt, gleichgültig, bei welchem Weisssektor und bei welchem Trübungsgrade beobachtet worden ist.

Um dies Abhängigkeitsverhältnis des genaueren zur Anschauung zu bringen, wurden die obigen zwei Tabellen wiederum graphisch dargestellt (siehe vorsteh. Kurve S. 19): auf der Abszisse sind die Schichtdicken eingetragen, wobei wieder 1 mm Schichtdicke 25 mm der Abszisse entspricht, auf der Ordinate wurde die Farbintensität eingetragen, diese wird an der Schichtdicke des Haemoskops II gemessen, es entspricht ebenfalls 1 mm Schichtdicke 25 mm der Kurve.

Auf diese Weise werden wieder zwei annähernd gerade Linien erhalten, es ändert sich also die Farbintensität annähernd proportional der Schichtdicke, wenn man die Farbintensität an der Schichtdicke der klaren Lösung misst.

Um die Bedeutung dieser Tatsache verständlich zu machen wird man bedenken müssen, dass dasjenige Licht. das die reine Farbstofflösung passiert, durchweg eine bestimmte Schichtdicke zu durchlaufen hat und hierbei eine, eben in der Farbigkeit zum Ausdruck kommende Absorption erleidet. Dagegen wird dasjenige Licht, welches von der trüben Flüssigkeit herrührt, in allen möglichen Schichten reflektiert, auch wird ein Teil der Strahlen eine zwei-, drei- oder noch mehrmalige Reflexion erleiden. Die von der trüben und zugleich farbigen Flüssigkeit zurückgeworfenen und in das Auge des Beobachters gelangenden Strahlen haben also die allerverschiedensten Weglängen in der farbigen Flüssigkeit zu durchlaufen. Der Grad ihrer Farbigkeit wird von einem gewissen Mittelwert dieser Weglängen abhängen. Diesen in mathematischer Weise abzuleiten, dürfte wohl auf grosse Schwierigkeiten stossen. Der Versuch lehrt aber, was jedenfalls bemerkenswert ist, dass dieser Mittelwert etwa der halben Schichtdicke gleich ist. Uebrigens versteht sich von selbst, dass auch dieses Resultat nur

innerhalb gewisser Grenzen Gültigkeit haben kann. Denn offenbar dringt ja das Licht in die trüben Flüssigkeiten überhaupt nur bis zu einer gewissen Tiefe in merklicher Quantität ein. Eine Vergrösserung der Schichtendicke über diesen Wert wird also weder die Helligkeit noch die Farbe weiter ändern. Sobald also die Schichtdicke eine gewisse Grenze überschritten hat, kann die obige Regel nicht mehr zutreffen.

Ich gehe jetzt zur letzten Versuchsreihe über, die speziell in Bezug auf die Maculafrage von Interesse ist. Es sollte also bestimmt werden, wie sich die Farbintensität mit fortschreitender Trübung ändert.

Zu diesem Zweck wurde im Haemoskop I, welches zur Aufnahme der Deckfarbe diente, die Schichtdicke von 5 mm fest eingestellt. Jetzt wurden die zu beobachtenden Lösungen eingefüllt, und zwar 10,0 ccm Farblösung mit einem Milchzusatz von 0,1—1,0 ccm, um je 0,1 ccm fortschreitend. Das andere Haemoskop II enthielt wieder dieselbe reine Farblösung. Die Werte des Haemoskops II und des Weisssektors sollten verändert werden.

Die Tabelle VII zeigt die erhaltenen Resultate.

Tabelle VII.

Milchzusatz im Haemoskop I in ccm	Weisssektor	Schichtdicke d. Haemoskop II in mm
0,1	26,5°	2,0
0,2	40,5°	2,0
0,3	55,5°	2,0
0,4	73,0°	2,0
0,5	83,0°	2,0
0,6	95,0°	2,0
0,7	108,0°	2,0
0,8	116,0°	2,0
0,9	122,0°	2,0
1,0	122,0°	2,0

Diese Tabelle zeigt nicht mehr, wie in allen früheren Versuchen, dass die Helligkeit rascher ansteigt, als die Trübung, sondern im Gegenteil, ein langsameres Ansteigen derselben. Da nun bei allen früheren Versuchen, die speziell angestellt wurden, um diese Verhältnisse zu klären, übereinstimmend dasselbe Resultat gefunden wurde, so glaube ich diese abweichenden Ergebnisse auf die aus der Art der Apparatur resultierenden Fehlerquellen zurückführen zu können.

Im Haemoskop II bleibt die Schichtdicke von 2 mm konstant eingestellt. Die Intensität der Farbe ändert sich also mit zunehmender Trübung überhaupt nicht, sondern nur die Helligkeit derselben wird grösser, denn die Intensität der Deckfarbe wird ja an der Schichtdicke der Lackfarbe im Haemoskop II gemessen. Uebrigens stehen diese Resultate in gutem Einklange mit dem, was auch die vorhin erwähnten Versuche (allerdings nur für zwei Trübungsgrade) herausgestellt hatten. Ebenso wie dort findet sich auch hier, dass die Schichtdicke der trüben Flüssigkeit auf etwas weniger als die Hälfte (hier zwei fünftel) von derjenigen der klaren Lösung eingestellt werden muss.

Beziehen wir nun diese Resultate auf die Verhältnisse der Macula lutea des Auges, so müssen wir sagen, dass die Intensität der Farbe sich durch die postmortal entretende Trübung nicht vergrössern kann, wohl aber die Helligkeit derselben.

Um nun feststellen zu können, ob es möglich ist, dass das Pigment der Macula, wenn keine Trübung vorhanden ist, unsichtbar ist, dagegen mit eintretender Trübung sichtbar wird, müsste noch eine weitere Untersuchung angestellt werden.

Es müsste nämlich festgestellt werden, ob ein bestimmter Schwellenwert existiert, welcher überschritten

werden muss, ehe die zunehmende Trübung eine Farbe sichtbar macht, ehe also die Helligkeit derselben so gross wird, dass die Farbe wahrgenommen werden kann.

Bevor ich die obengeschilderten Versuche anstellte, machte ich eine Reihe von Vorversuchen, um mich zunächst über die bestehenden Verhältnisse zu orientieren. Es zeigte sich hierbei, wie zu erwarten, dass eine in das Haemoskop gebrachte Lackfarbe bei völlig dunklem Hintergrunde (dieser wurde durch ein Stück schwarzen Sammt hergestellt) und bei sorgfältig abgeblendeten seitlich einfallenden Strahlen, ebenso bei Ausschaltung aller auf der vorderen Glasplatte etwa auftretenden Reflexe, nicht zu erkennen war, wenn die Flüssigkeit vollkommen klar war, also gar kein oder so gut wie gar kein Licht, das die Flüssigkeit durchsetzt hatte, in das Auge des Beobachters gelangen konnte. Auch gelang es mir die Farbe durch passende, die Flüssigkeit trübender Zusätze sichtbar zu machen. Die Erscheinungen komplizieren sich jedoch in mannigfaltiger Weise, z. B. schon dadurch, dass auch bei zu starken Trübungen die Farben gelegentlich wieder unsichtbar werden. Eine systematische Untersuchung der für die Erkennung von Farben bestehenden Schwellenwerte dürfte danach ziemlich umfangreich und verwickelt werden. Da ich aus äusseren Gründen zum Abschluss meiner Arbeit genötigt war, so ist es mir nicht möglich gewesen, diese Versuche noch in Angriff zu nehmen. Ich kann daher nur sagen, dass ich auf Grund meiner Beobachtungen das Sichtbarwerden der Maculafärbung durch eine in der ursprünglich vollkommen durchsichtigen Schicht auftretende Trübung durchaus für wahrscheinlich zu halten geneigt bin. Jedoch kann ich diese Annahme nicht auf systematische Versuchsreihen, sondern nur auf eine Anzahl fragmentarischer Beobachtungen stützen.

Es sei mir gestattet zum Schluss die Resultate meiner Untersuchungen noch einmal kurz zusammenzufassen.

1. Die Helligkeit einer trüben Flüssigkeit nimmt a. annähernd proportional der Schichtdicke zu, b. steigt steiler an, als die zunehmende Trübung.

2. Die Intensität einer Farbe ändert sich a. annähernd proportional der zunehmenden Schichtdicke und b. bleibt unverändert mit zunehmender Trübung.

Beide Regeln gelten mit Annäherung für kleine Schichtdicken, während ihre Gültigkeit bei weiterer Vergrösserung der Schichtdicke selbstverständlich eine Grenze finden muss.

3. Die Annahme, dass die Macula-Färbung durch eine Trübung desjenigen Mediums, in dem sie sich befindet sichtbar werde, steht mit diesen physikalischen Verhältnissen und mit dem, was hinsichtlich der Farbenschwellen angenommen werden darf, jedenfalls in gutem Einklange, sie darf daher, soweit diese Verhältnisse in Frage kommen, jedenfalls als eine zulässige bezeichnet werden.

Lebenslauf.

Leopold von Holst, deutsch-baltischer Nationalität, geboren in St. Petersburg am 21. April 1888, als Sohn des Dr. med. Leopold von Holst, besuchte nach anfänglichem Privatunterricht von 1899—1906 das Gymnasium der St. Annen-Kirchenschule in St. Petersburg, wo er im Juni 1906 die Maturitätsprüfung bestand. Studierte darauf vom Oktober 1906 an an der Universität Freiburg Medizin, bestand hier zu Ostern 1909 die ärztliche Vorprüfung und promovierte nach bestandenem Examen rigorosum auf Grund der vorliegenden Dissertation am 28. Juli 1911.